

Transmisi dan Refleksi Gelombang Air yang Merambat Melalui Balok Tenggelam

Azi Alrizki^a* dan Muliadi^a

^aProgram Studi Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura

*Email : azialrizki06@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan studi tentang transmisi dan refleksi gelombang air yang merambat melalui pemecah gelombang balok tenggelam dengan menganalisis kebergantungan profil spektrumnya terhadap perubahan dimensi balok. Koefisien transmisi dan refleksi diperoleh dengan menyelesaikan hubungan kontinuitas pada batas antar dua kedalaman berbeda. Hasil studi menunjukkan bahwa dalam daerah frekuensi tinggi, gelombang akan diteruskan secara hampir sempurna (hampir tidak ada gelombang yang direfleksikan). Dalam daerah frekuensi rendah, nilai absolut kuadrat dari amplitudo gelombang transmisi dan refleksi beresolusi secara kuasi-periodik yang mengindikasikan bahwa model sederhana dari pemecah gelombang ini hanya berguna secara efektif dalam daerah frekuensi rendah. Kinerja (*performance*) dari pemecah gelombang balok tenggelam sangat bergantung secara sensitif pada dimensi lebar dan tinggi balok. Sebagai contoh, balok dengan interval lebar 4,0-10,0 m dan tinggi 4,0 m dapat mengurangi 30% dari intensitas gelombang datang dalam rentang frekuensi 0,04-0,24 hertz. Hasil studi ini juga menunjukkan bahwa pemecah gelombang balok tenggelam hanya efektif untuk penggunaan di perairan dangkal.

Kata kunci: Gelombang Air, Pemecah Gelombang, Balok Tenggelam, Transmisi, Refleksi.

1. Latar Belakang

Penggunaan pemecah gelombang (*wave breaker*) merupakan salah satu cara untuk menyelamatkan pantai dari kerusakan. Salah satu model pemecah gelombang yang dapat digunakan adalah balok tenggelam. Dalam model ini satu atau beberapa balok diletakkan di dasar laut. Secara fisika, prinsip dasar dari pemecah gelombang balok tenggelam dapat dijelaskan dari kebergantungan panjang gelombang terhadap kedalaman dasar laut. Adanya perubahan kedalaman menyebabkan terjadinya peristiwa refleksi dan transmisi gelombang. Nilai refleksi dan transmisi gelombang bergantung pada dimensi (lebar dan tinggi) dari balok pemecah gelombang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi optimal dari balok pemecah gelombang dengan kinerja terbaik dalam aplikasinya sebagai pemecah gelombang berdasarkan analisis perubahan amplitudo transmisi dan refleksi dengan merujuk pada penelitian terdahulu [1,2,3]. Secara spesifik, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian sistematis berdasarkan simulasi numerik untuk menganalisis kebergantungan transmisi dan refleksi gelombang air pada frekuensi dan dimensi balok pemecah gelombang.

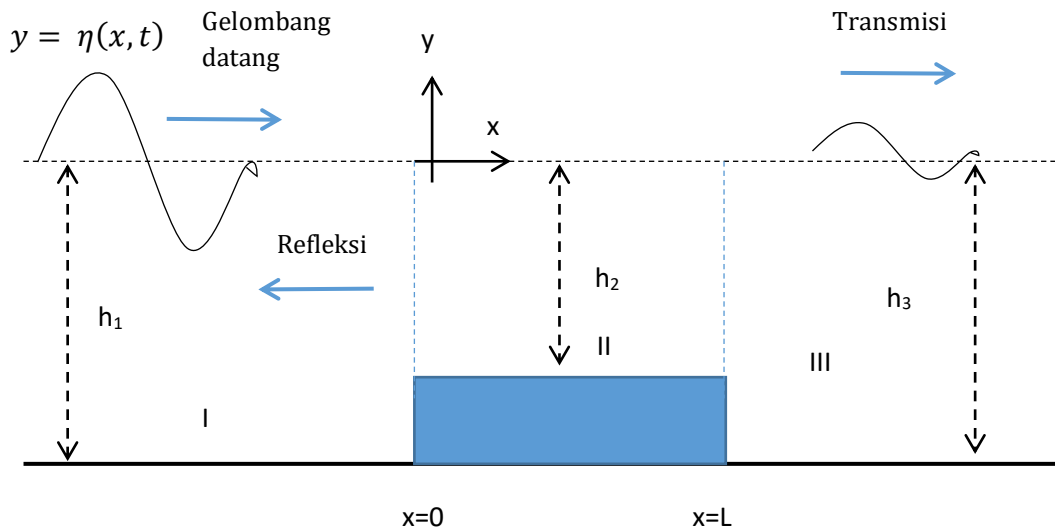
2. Metodologi

Model Perambatan Gelombang Air Melewati Pemecah Gelombang Balok Tenggelam

Secara skematik, model perambatan gelombang air 1 dimensi yang melewati pemecah gelombang balok tenggelam ditunjukkan dalam Gambar 1. Saat melewati pemecah gelombang balok tenggelam, gelombang datang dengan amplitudo a akan mengalami refleksi dan transmisi. Simpangan gelombang dalam masing-masing daerah dapat dinyatakan oleh persamaan berikut

$$\eta(x, t) = \begin{cases} ae^{-i(k_1x - \omega t)} + a_re^{-i(-k_1x - \omega t)}, \\ b_te^{-i(k_2x - \omega t)} + b_re^{-i(-k_2x - \omega t)}, \\ ce^{-i(k_3x - \omega t)}. \end{cases} \quad (1)$$

Persamaan (1) merupakan simpangan gelombang pada masing-masing daerah dengan a merupakan amplitudo gelombang datang dengan besar nilai amplitudo gelombang sama dengan 1. Sedangkan a_r adalah amplitudo gelombang refleksi dalam daerah $x < 0$, b_t dan b_r adalah amplitudo gelombang transmisi dan refleksi dalam daerah $0 < x < L$, c adalah amplitudo gelombang yang ditransmisikan pada daerah $x > L$. Frekuensi gelombang dinyatakan oleh ω , sedangkan bilangan gelombang pada masing-masing daerah dinyatakan oleh k_1, k_2, k_3 yang nilainya bergantung pada kedalaman air di setiap daerah h_1, h_2, h_3 [1].



Gambar 1 Perambatan gelombang air melewati pemecah gelombang balok tenggelam

Persamaan Relasi Dispersi

Persamaan relasi dispersi merupakan sebuah persamaan yang menyatakan hubungan antara ω (frekuensi sudut gelombang) dan k (bilangan gelombang). Persamaan ini dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan Laplace berikut

$$\left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right] = 0, \quad (2)$$

beserta kondisi batas kinematik yang terjadi pada permukaan dan dasar laut serta kondisi batas dinamik pada permukaan laut

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \eta}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = 0, \quad (4)$$

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t}. \quad (5)$$

Penyelesaian persamaan Laplace beserta kondisi batas dapat dilakukan menggunakan metode pemisahan variabel, sehingga diperoleh sebuah persamaan fungsi potensial kecepatan gelombang air $\phi_{(x,y,t)}$ seperti pada persamaan dibawah ini

$$\phi_{(x,y,t)} = \frac{ig}{\omega} \eta_{(x,t)} \left[\cosh(ky) + \frac{\omega^2}{gk} \sinh(ky) \right]. \quad (6)$$

Persamaan relasi dispersi bisa didapatkan dengan menurunkan Persamaan (6) terhadap variabel y sehingga

$$\phi_y = \frac{ig}{\omega} \eta_{(x,t)} \left[k \sinh(ky) + \frac{\omega^2}{g} \cosh(ky) \right]. \quad (7)$$

Menggunakan kondisi batas kinematik pada dasar saluran $\phi_y = 0$ dan $y = -h$, maka Persamaan (7) dapat diselesaikan menjadi

$$\omega^2 = gk \tanh(kh), \quad (8)$$

dengan h merupakan kedalaman laut. Persamaan (8) merupakan persamaan relasi dispersi untuk kedalaman air lebih besar dari amplitudo gelombang yang datang [4].

Penyelesaian Persamaan Gelombang Untuk Mendapatkan Koefisien Refleksi dan Transmisi

Nilai amplitudo refleksi dan transmisi gelombang dapat ditentukan dengan menerapkan syarat kontinuitas di $x = 0$ dan $x = L$ secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \eta(x, t) = \lim_{x \rightarrow 0^+} \eta(x, t), \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow L^-} \eta(x, t) = \lim_{x \rightarrow L^+} \eta(x, t). \quad (10)$$

Sehingga, akan diperoleh persamaan sebagai berikut

$$a + a_r = b_t + b_r \quad (11)$$

$$b_t e^{-ik_2 L} + b_r e^{ik_2 L} = c e^{-ik_3 L}. \quad (12)$$

Selanjutnya, akan digunakan kekontinuan *flux* massa fluida (Q) sebelum dan sesudah balok pemecah gelombang,

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} Q = \lim_{x \rightarrow 0^+} Q, \quad (13)$$

$$\lim_{x \rightarrow L^-} Q = \lim_{x \rightarrow L^+} Q, \quad (14)$$

dengan *flux* massa fluida (Q) adalah sebagai berikut

$$Q = \int_{-h}^0 \phi_x dy, \quad (15)$$

sehingga, akan diperoleh persamaan sebagai berikut

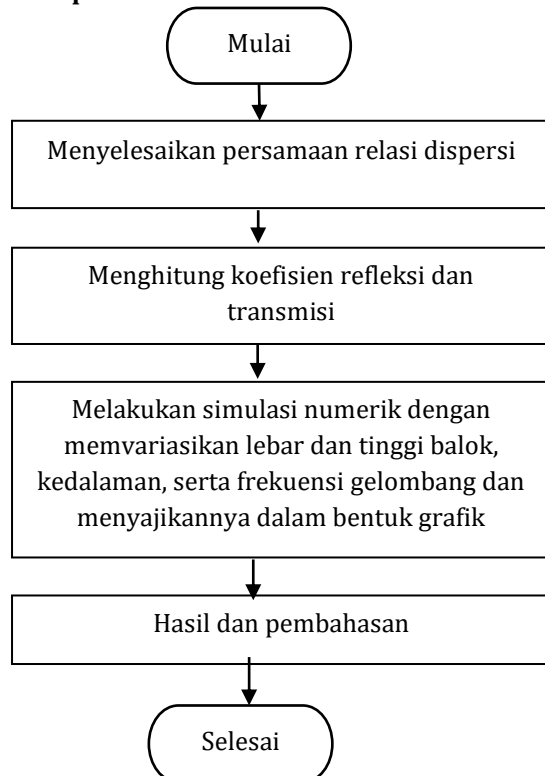
$$k_2 [-a + a_r] = k_1 [-b_t + b_r]. \quad (16)$$

$$(b_t e^{-ik_2 L} - b_r e^{ik_2 L}) k_3 = c e^{-ik_3 L} k_2. \quad (17)$$

Persamaan (11), (12), (16) dan (17) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai amplitudo refleksi (a_r, b_r)

dan amplitudo transmisi (b_t, c) dengan amplitudo gelombang datang ($a = 1$) [1].

Tahapan Penelitian



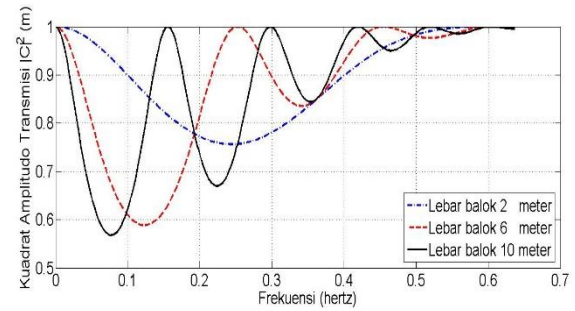
Gambar 2 Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

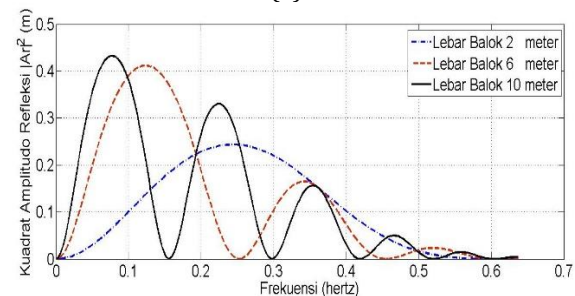
Pengaruh Lebar Balok Pemecah Gelombang

Amplitudo gelombang transmisi dan refleksi sangat dipengaruhi oleh lebar balok pemecah gelombang. Dalam Gambar 3 (a) dan (b), ditunjukkan spektrum modulus kuadrat dari amplitudo gelombang transmisi $|C|^2$ dan modulus kuadrat amplitudo gelombang refleksi $|Ar|^2$ terhadap frekuensi gelombang untuk interval 0 sampai 0.7 hertz, dengan kedalaman laut sebesar 5 meter dari permukaan air, ketinggian balok sebesar 4 meter dan variasi lebar balok yang berbeda-beda.

Secara umum, tampak dari Gambar 3 (a) dan (b) bahwa pemecah gelombang balok tenggelam dengan variasi lebar balok berbeda-beda hanya dapat mereduksi amplitudo gelombang datang dengan frekuensi rendah, yaitu kurang dari 0.6 hertz. Sedangkan untuk amplitudo gelombang datang dengan frekuensi lebih besar dari 0.6 hertz hampir tidak terjadi peristiwa refleksi yang dapat mereduksi energi amplitudo gelombang datang. Artinya, Amplitudo gelombang transmisi hampir sama dengan amplitudo gelombang datang.



(a)



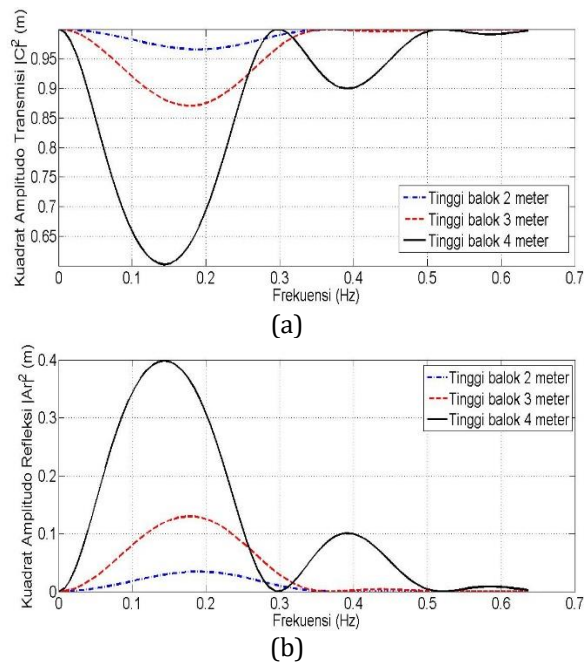
(b)

Gambar 3 Kebergantungan nilai kuadrat amplitudo gelombang datang untuk lebar balok pemecah gelombang berbeda-beda (a) gelombang transmisi (b) gelombang refleksi.

Sebagai acuan dimensi optimal dalam pembuatan pemecah gelombang, berdasarkan Gambar 3 (a) dan (b) kuadrat amplitudo gelombang sebanding dengan energi gelombang, energi gelombang datang dapat tereduksi sampai 30% dari intensitas gelombang datang untuk lebar balok mulai dari 4 meter sampai 10 meter. Artinya amplitudo gelombang datang akan berkurang sebanyak 0.3 meter dari amplitudo awal. Sehingga amplitudo yang akan diteruskan menjadi 0.7 meter untuk interval frekuensi gelombang antara 0.04 hertz sampai 0.24 hertz.

Pengaruh Tinggi Balok Pemecah Gelombang

Selain lebar balok pemecah gelombang, tinggi balok pemecah gelombang menjadi salah satu parameter penting dalam mereduksi amplitudo gelombang datang. Dalam Gambar 4 (a) dan (b), ditunjukkan spektrum modulus kuadrat dari amplitudo gelombang transmisi $|C|^2$ dan modulus kuadrat amplitudo gelombang refleksi $|Ar|^2$ terhadap frekuensi gelombang untuk interval 0 sampai 0.7 hertz, dengan kedalaman laut sebesar 5 meter dari permukaan air, lebar balok sebesar 4 meter dan variasi ketinggian balok mulai dari 2 meter sampai 4 meter.



Gambar 4 Kebergantungan nilai kuadrat amplitudo gelombang datang untuk tinggi balok pemecah gelombang berbeda-beda (a) gelombang transmisi (b) gelombang refeksi.

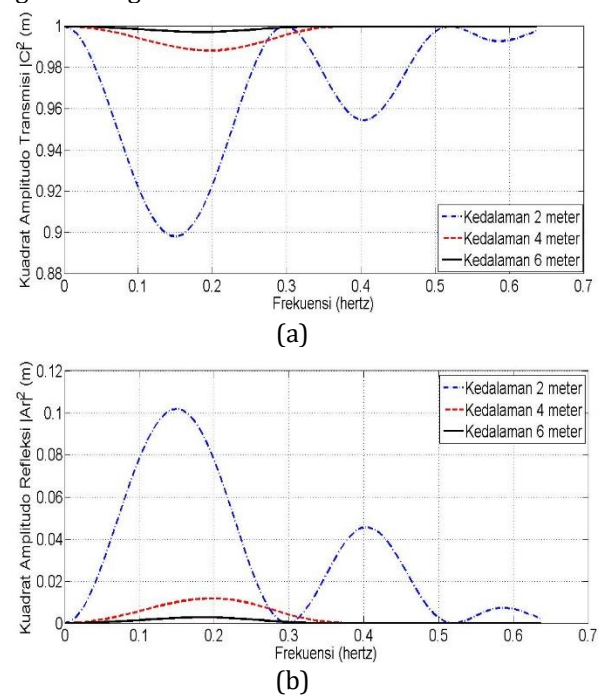
Gambar 4 (a) dan (b) menunjukkan kurva spektral untuk variasi tinggi balok pemecah gelombang sebesar 2 meter, 3 meter dan 4 meter dengan interval frekuensi mulai dari 0 sampai dengan 0.7 hertz. Terlihat bahwa pemecah gelombang balok tenggelam hanya dapat digunakan untuk frekuensi gelombang kurang dari 0.6 hertz. Sehingga, ketika gelombang datang yang melewati pemecah gelombang memiliki frekuensi gelombang lebih besar dari 0.6 hertz, maka gelombang datang tersebut akan diteruskan tanpa mengalami peristiwa refleksi.

Pemecah gelombang dengan variasi tinggi balok dapat mereduksi amplitudo gelombang datang mulai dari 10% sampai 30% pada tinggi balok pemecah gelombang sebesar 3 meter sampai 4 meter. Artinya amplitudo gelombang datang bisa berkurang menjadi 0.9 meter dengan menggunakan balok pemecah gelombang setinggi 3 meter dan amplitudo gelombang datang akan berkurang menjadi 0.7 meter saat tinggi balok pemecah gelombang sebesar 4 meter. Hal ini dikarenakan semakin tinggi balok pemecah gelombang maka gelombang datang akan terhalang oleh balok pemecah gelombang, sehingga gelombang datang yang berhasil melewati balok pemecah gelombang menjadi berkurang.

Pengaruh Kedalaman Balok Pemecah Gelombang

Selain lebar dan tinggi balok pemecah gelombang, kedalaman dari balok pemecah gelombang juga menjadi salah satu parameter yang dapat mempengaruhi sebuah pemecah gelombang dalam mereduksi energi gelombang datang.

Gambar 5 (a) dan (b) ditunjukkan spektrum modulus kuadrat dari amplitudo gelombang transmisi $|C|^2$ dan modulus kuadrat amplitudo gelombang refleksi $|Ar|^2$ untuk balok pemecah gelombang dengan kedalaman h berbeda-beda yaitu 2 meter, 4 meter dan 6 meter, dengan lebar balok pemecah gelombang sebesar 5 meter dan tinggi balok pemecah gelombang sebesar 1 meter dari dasar laut.



Gambar 5 Kebergantungan nilai kuadrat amplitudo gelombang datang untuk kedalaman berbeda-beda (a) gelombang transmisi (b) gelombang refeksi.

Berdasarkan Gambar 5 (a) dan (b), terlihat jelas bahwa pengaruh kedalaman air untuk mereduksi amplitudo gelombang datang sangat bergantung dengan ketinggian balok pemecah gelombang. Hal ini dapat diartikan jika jarak antara balok pemecah gelombang terhadap permukaan air terlalu besar maka reduksi amplitudo gelombang yang terjadi kurang efektif, bahkan amplitudo gelombang dapat diteruskan sepenuhnya.

Pemecah gelombang balok tenggelam cukup efektif digunakan pada laut dangkal. Hal ini dikarenakan pada laut dalam gerak partikel

gelombang tidak terjadi di dasar laut, gerak partikel gelombang hanya terjadi pada bagian permukaan laut. Sedangkan pada laut transisi gerak partikel gelombang memang terjadi pada dasar laut akan tetapi gerak partikel gelombang yang terjadi di dasar laut lebih kecil dibandingkan gerak partikel gelombang yang terjadi di permukaan laut. Semakin besar kedalaman laut, maka gerak partikel air yang terjadi di dasar laut semakin mengecil, sehingga gelombang yang terefleksikan sangat kecil dan gelombang yang ditransmisikan akan sebanding dengan gelombang datang. Oleh karena itu, pemecah gelombang balok tenggelam tidak efektif untuk digunakan pada gelombang laut transisi dan gelombang laut dalam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Amplitudo gelombang transmisi dan refleksi sangat dipengaruhi oleh dimensi lebar dan tinggi balok pemecah gelombang. Hal ini dibuktikan bahwa dimensi lebar dan tinggi balok pemecah gelombang dapat mereduksi 30% intensitas gelombang datang, sehingga amplitudo gelombang yang diteruskan menjadi lebih kecil.
- b. Dimensi optimal balok pemecah gelombang untuk mereduksi 30% intensitas gelombang datang berkisar antara 4 meter sampai 10 meter dengan interval frekuensi 0.04 hertz sampai 0.24 hertz. Sedangkan untuk kedalaman laut 5 meter dimensi tinggi optimal balok pemecah gelombang sebesar 4 meter, dengan interval frekuensi antara 0.08 hertz sampai dengan 0.19 hertz.
- c. Pemecah gelombang balok tenggelam efektif untuk mereduksi gelombang datang dengan frekuensi lebih kecil dari 0.6 hertz. Sedangkan untuk gelombang datang dengan frekuensi lebih dari 0.6 hertz, maka gelombang tersebut akan diteruskan tanpa mengalami pengurangan intensitas gelombang datang.

5. Pengakuan

Terima kasih kepada Azrul Azwar yang telah banyak membantu memberikan masukan, kritik dan saran dalam penyelesaian studi ini.

Daftar Pustaka

- [1] Wiryanto, L. H, Waves Propagation Passing Over a Submerged Porous Breakwater, J Eng Math, 70, 126-136, 2011.
- [2] Aini, H, N, Penerapan Metode Pemisahan Variabel pada Evolusi Gelombang Harmonik Melalui Sebuah Pemecah Gelombang, UIN Maulana Ibrahim Malang, Malang, 2014.
- [3] Tsai, C. P., Chen, H. B., dan Lee, F.C, Wave Transformation Over Submerged Permeable Breakwater on Porous Bottom, Ocean Eng, 33, 1623-1643, 2006.
- [4] Holthuijsen, L, Wave in Oceanic and Coastal Waters, Cambridge University Press, New York, 2007.